

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-307157

(43)Date of publication of application : 28.11.1997

(51)Int.Cl.

H01L 51/00  
H01L 21/203  
H01L 21/285  
H01L 21/288  
H01L 29/06  
H01L 29/68

(21)Application number : 08-118657

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 14.05.1996

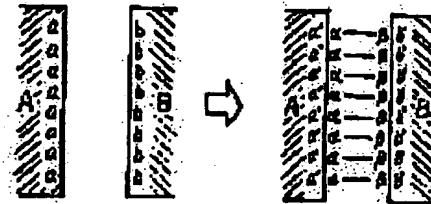
(72)Inventor : MITSUYA MUNEHISA  
WADA YASUO  
HASHIZUME TOMIHIRO

## (54) CONNECTING METHOD BETWEEN SOLID SURFACE AND ELEMENT USING THE SAME

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To efficiently arrange molecules in a specified part of a solid surface, by adsorbing multifunctional molecules from gas phase or liquid phase to a space between solid surfaces.

**SOLUTION:** Active part positions (a), (b) are formed on all over the whole surfaces of two kinds of solids A, B which face each other, A molecule (a-b) having two functional groups a, b on both terminals is introduced. Design is performed so as to selectively adsorb the functional groups a, b to the active part positions (a), (b). By adsorbing the molecule (a-b), two kinds of the solids A, B connect all regions which are most adjacent. By adsorbing the functional groups a, b structure of the active part positions (a), (b) is changed. Therefore, molecules can be efficiently arranged in a specified part of the solid surface in a vacuum atmosphere.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

# CITATION /

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-307157

(43) 公開日 平成9年(1997)11月28日

(51) IntCl <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 51/00			H 0 1 L 29/28	
21/203			21/203	M
21/285			21/285	Z
21/288			21/288	M
29/06			29/06	

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平8-118657

(22) 出願日 平成8年(1996)5月14日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 三矢 栄久

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(72) 発明者 和田 義雄

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(72) 発明者 橋詰 富博

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

(54) 【発明の名称】 固体表面間の接続方法およびそれを用いた素子

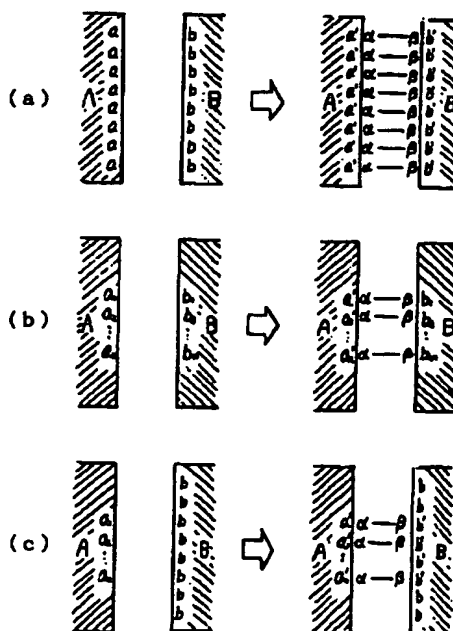
(57) 【要約】

【課題】本発明は真空内部にある異なる物質からなる固体表面間を分子で機械的あるいは電気的に接続することを目的とする。

【解決手段】本発明においては目的とする分子を吸着すべき活性部位を予め固体表面に形成しておく。しかる後に真空内に多官能性分子を導入すると該分子は真空中の拡散と活性部位への選択的吸着により固定される。その結果、相対する固体表面間の分子による接続が実現される。

【効果】本発明は活性部位への分子の自発的な吸着現象を利用しているため、分子を一つ一つ操作する必要がない。従って効率的な分子の集積が可能となる。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多官能性分子を気相あるいは液相から複数の固体表面間に吸着させることを特徴とする固体表面間の接続方法。

【請求項2】 接続される二つの固体が金属と半導体、あるいは半導体と絶縁体、あるいは絶縁体と金属、あるいは金属どうし、あるいは半導体どうしのいずれかの組み合わせであることを特徴とする請求項1に記載の固体表面間の接続方法。

【請求項3】 金属が金か銀かあるいは白金の中から選ばれることを特徴とする請求項1又は2に記載の固体表面間の接続方法。

【請求項4】 半導体がシリコンであることを特徴とする請求項1又は2に記載の固体表面間の接続方法。

【請求項5】 互いに接続すべき固体表面の中の少なくとも一つの表面が人工的に配列された吸着サイトを有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の固体表面間の接続方法。

【請求項6】 シリコン表面の分子の吸着サイトがシリコンフロライドであることを特徴とする請求項1、2、4又は5に記載の固体表面間の接続方法。

【請求項7】 シリコン表面の分子の吸着サイトがダングリングボンドであることを特徴とする請求項1、2、4又は5に記載の固体表面間の接続方法。

【請求項8】 固体表面の分子の吸着サイトが真空中での局所的な印加電場で形成されることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の固体表面間の接続方法。

【請求項9】 多官能性分子がその中に硫黄原子あるいはセレン原子を含むと共に、カルボキシル基とエポキシ基と水酸基とビニル基とアミノ基の中から選ばれた少なくとも一つを有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の固体表面間の接続方法。

【請求項10】 接続すべき固体表面間の距離に相当する分子長を有する分子を吸着させることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の固体表面間の接続方法。

【請求項11】 固体表面に分子の選択的な吸着サイトを人工的に配列させ、上記固体表面およびこれに相対する固体表面にそれぞれ選択的に反応する複数の官能基を有する分子を気相あるいは液相から吸着させて形成したことを特徴とする固体表面間が分子で接続された素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は固体表面での分子の集積方法およびかかる方法で得られる高性能な素子に関する。この方法で得られる分子集合体はそれ自身が、あるいはそれが集積せしめられた固体表面との共同作用によって、分子レベルの演算や検出や記録などの極めて高性能なデバイスの構築に利用される。

## 【0002】

【従来の技術】所定の固体表面に分子集合体を堆積させる方法は数多く知られている。この中で、固体表面に目的とする分子が一層のみ配列したいいわゆる単分子膜といわれる分子長に相当する膜厚を有する薄膜を形成する方法は次の二つの範疇に分けられる。

【0003】第一の方法は配列させるべき物質を真空中から固体表面に吸着させる方法で、分子だけでなく原子もがその対象となる。真空雰囲気を利用するこの方法においては、固体表面での分子の付着確率を考慮して真空中に導入する分子の数を制御する、あるいは固体表面での原子や分子の被覆率をモニターしながら導入することにより、単分子吸着膜を得ることができる。多くの場合には固体表面での物質の移動や再蒸発を防止するために固体は低温に保つ必要がある。

【0004】単分子吸着膜を得る第二の方法は、目的とする分子を溶解した液体中に固体を浸して分子を界面に吸着させる方法である。選ばれた特定の固体表面と分子の組み合わせの場合に、溶液内に存在する分子の数が過剰であっても、二層目以上の分子の堆積が進行せずに自発的に単分子吸着膜が形成されることが知られている。この方法が実現するのは、分子と固体表面との相互作用力が化学結合とよばれる強い相互作用の場合のみである。

【0005】しかしながら、上記したこれらの方法はいずれも固体表面の全域を均一に覆う目的には適しているが、固体表面の特定の場所に特定の分子を配置することは一般に困難である。

【0006】近年、走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡などのいわゆる走査型プローブ顕微鏡を用いることにより固体上の特定の位置に原子や分子を一つずつ配置させることが可能となった。即ち、たとえば走査型トンネル顕微鏡の探針に所定値以上の電位を加えることにより探針先端に所定の原子や分子を吸着させる。次いで、かかる探針を固体表面の所定位置に近づけてから探針の電位を逆転させると探針先端の原子や分子が固体表面に移動する。この操作により固体表面上の特定の位置へ所定の原子や分子を配置することが可能となった。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した気相からの自発的吸着、溶液からの自発的吸着、走査型プローブ顕微鏡を用いた分子固定のいずれの方法においても、それぞれの分子はその一端で一つの固体表面上に固定された場合しか報告されていない。走査型トンネル顕微鏡を用いて、目的とする相対する二つの固体間に橋渡しすべく分子を配置することは原理的には不可能ではない。しかしながら、この方法には明らかに二つの克服困難な課題がある。

【0008】第一の克服困難な課題は配置すべき分子の供給源である。即ち、探針先端に付着させる分子を真空の外部から一つずつ供給することは極めて困難である。

これに対する実現可能な一つの方策として、真空内部の一部を低温に冷却し、集積すべき分子を予めここに集めておく方法が考えられる。しかしこの方法とて、実現には技術的な困難を伴う。

【0009】走査型トンネル顕微鏡を用いた分子の直接操作の第二の問題点は、誤った位置に分子を固定した時の修正方法である。何故ならば、一旦固定された分子がその場所に安定に存在するためには、各分子は固体表面に化学的な強い力で結合していることが前提となっているからである。このように強く化学吸着している分子をそこから取り除くことは容易ではない。場合によっては、分子が途中で切断され削除不可能な残基が固体表面に残ることも考えられる。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を克服して固体表面の所定の場所に分子を効率良く配置せしめるために本発明者らが見出した着目すべき実験事実は以下の三点である。

【0011】第一は、メルカプト基を有するチオールと称せられる分子が気相からの吸着により金や銀や白金などの金属表面に自発的に単分子膜を形成することを確認したことである。この化合物が溶液から金表面に単分子吸着することはよく知られた事実であるが、真空中からも単分子吸着可能であることは初めての発見である。さらに、チオール以外のチオフエンなどの芳香環内に硫黄原子あるいはセレン原子を含む化合物も同様に金や銀や白金の表面に単分子吸着することを確認した。現在の半導体デバイスにおいては、絶縁体や半導体間が電導体で接続され、更にこれらが外部からの取り出し電極により動作していることを考慮すると、電気伝導度の高いこれら金属への分子の接続が確認されたことは意味が大きい。

【0012】第二の有用な事実は、安定あるいは不活性な固体表面の一部のみを活性化し、この周囲に所定の分子を導入すると、分子はこの活性化された微小な領域のみに選択的に吸着することである。かかる局所的かつ選択的に活性化される表面は、単結晶シリコンの表面へのダングリングボンドあるいはシリコンフロライドの形成などで得られる。また走査型トンネル顕微鏡を用いて金などの金属を不活性表面に配列させることによって形成される。シリコン表面のダングリングボンドへは、アミノ基あるいはビニル基を有する分子がこれら官能基を介して共有結合により吸着することを赤外線吸収分光とX線光電子分光で確認した。またシリコン表面のシリコンフロライド部分にはカルボキシル基あるいはエポキシ基あるいは水酸基を有する分子がフッ素原子と置換することによりシリコン表面に化学吸着する。これらの原子単位の活性部位は走査型トンネル顕微鏡の端針からの局所電場を利用して得られる。これら活性部位形成の詳細は後に発明の実施の形態の項で述べる。以上の要点は、

分子そのものを一つずつ所定の位置まで移動させて固定するのではなく、吸着場所さえ最初に人工的に設定しておけば、真空内での分子の自己拡散と自発的な吸着により目的とする位置に目的とする分子が固定されることである。この方法により、たとえば二つの活性部位を形成した場所に二官能性分子を吸着させることにより、この二点が機械的あるいは電氣的に接続される。また三つの活性部位を形成した場所に三官能性分子を吸着させることにより、トランジスタとしての機能も可能である。

【0013】近接する二種類の固体間の任意の位置どうしを二官能性分子で接続させる場合に、それぞれの固体表面がそれぞれの官能基への選択的な吸着部位を有することが理想的ではある。しかしながら、吸着させる二官能性分子の分子長と接続すべき固体表面間の距離に整合性があれば、選択的な吸着部位は片方の固体表面だけで充分であることを見出した。これが第三の有用な事実であり、この発見により、より効率的に分子を配列させることができるようになった。

【0014】以上の結果を図1を用いて具体的に説明する。

【0015】図1(a)において相対する二種類の固体AとBの表面には、それぞれ全面にわたって活性な部位aとbが形成されている。ここに二つの官能基 $\alpha$ と $\beta$ を両末端に有する分子( $\alpha-\beta$ )を導入する。官能基 $\alpha$ と $\beta$ はそれぞれ活性部位aとbに選択的に吸着するべく設計されている。この場合には分子( $\alpha-\beta$ )の吸着により二種類の固体AとBは最近接したすべての領域が接続される。官能基 $\alpha$ および $\beta$ の吸着により、活性部位aとbは一般にその構造が変化する。図1(a)においては、それをa'およびb'で示した。

【0016】図1(b)において、二種類の固体AとBの対応する位置にそれぞれ活性部位 $a_1$ から $a_n$ と $b_1$ から $b_n$ が形成されている。ここに分子( $\alpha-\beta$ )を導入すると、分子( $\alpha-\beta$ )の吸着により $a_1$ と $b_1$ から $a_n$ と $b_n$ のみが接続され、活性部位の無いそれ以外の領域には分子が吸着しない。

【0017】図1(c)において固体Aの表面には活性な部位 $a_1$ から $a_n$ が人工的に配列されているが、固体Bの表面はすべて活性部位bで占められている。ここに分子( $\alpha-\beta$ )を導入した場合に、この分子の吸着状態には二種類ある。第一は分子の両端がそれぞれ二つの活性部位を通してA、B両方の固体表面に吸着しているものである。第二は官能基 $\beta$ のみを通して片方の固体表面Bに吸着し、分子の別の端は自由な状態になっているものである。このような二種類の形態で分子が吸着している系全体の温度を所定温度にまで上昇させると、分子の片端のみで吸着した分子は脱離し、二つの活性部位aとbの両方に吸着した分子のみが残る。この状態は図1

(b)で得られた結果と同様の固体間の接続である。かかる状態を実現するための温度条件は分子と活性部位の

組み合わせにより決まるものであり、その詳細は本発明の内容を制限するものではない。

【0018】本発明で用いられる分子に必要な条件は、それぞれの固体表面に選択的に吸着する異なる官能基を有することであり、それ以外の分子構造は目的に応じて選択することができる。固体表面間の機械的接続の場合には炭化水素鎖やアミド結合の連なった分子構造などが利用される。また固体表面間の電気的接続の場合にはパイ電子の共役系がつながった分子が利用される。場合によっては、分子吸着後にドーピング処理を施すことも有効である。

【0019】

【発明の実施の形態】

実施例1 真空度10の-9乗パスカルの真空中においてシリコン単結晶(100)の水素終端表面での原子操作により、幅0.8ナノメートル長さ10ナノメートルの帯状域に金の単原子層を形成した。原子操作に用いた探針の材質は表面を金で被覆したタングステンであり、印加電圧は5Vである。ついで金被覆をしていないタングステン探針を水素終端シリコン表面から0.5ナノメートルの距離に近付け、探針に-6Vを印加することにより水素終端シリコンから水素を脱離させ、表面にダングリングボンドを形成した。この操作を繰り返すことにより、金の単原子層列と平行に長さ10ナノメートルのダングリングボンド列を形成した。かかるダングリングボンド列が形成されていることは、走査型トンネル顕微鏡観察により、その部分が明るくなっていることで確認された。金単原子層列とダングリングボンド列の距離は2ナノメートルである。次に、アミノ基とチオール基を両端に有し、分子鎖がアミド結合からなる分子を真空容器内に導入した。クロマトグラフによる分析によると、この分子の分子長は2.3から2.9ナノメートルの範囲に分布している。金単原子層列とダングリングボンド列ではさまれた領域の走査型トンネル顕微鏡像は真空容器内にこの分子を導入する前とは異なり、この領域のみに分子が吸着していることを示している。

【0020】実施例2 実施例1と同様にシリコン単結晶(100)の水素終端表面に金単原子層列とダングリングボンド列を平行に形成した。金単原子層列の長さは10ナノメートル、ダングリングボンド列の長さは5ナノメートルであり、両者の距離は2ナノメートルである。ついで実施例1で用いた分子を導入した後に80℃に2時間保った。室温にもどした後の走査型トンネル顕微鏡観察により、分子は金単原子層列とダングリングボンド列ではさまれた幅5ナノメートル長さ2ナノメートルの領域に存在していることが確認された。

【0021】実施例3 実施例1と同様の方法でシリコン単結晶(111)の水素終端表面に幅0.8ナノメートル長さ10ナノメートルの金の単原子層列を形成した。次いで真空容器内にフッ素ガスを導入した状態でタ

ングステン探針の先端に-4Vを印加しつつシリコン単結晶上の金の単原子層列から4ナノメートル離れた位置で単原子層列と平行に移動させた。かかる操作の前後での走査型トンネル顕微鏡像の変化は認められない。しかし、別に行った広い領域にわたる探針走査により、シリコン表面がシリコンフロライドに変化していることをX線光電子分光で確認してある。このようにしてシリコン表面に互いに平行な金単原子層列とシリコンフロライド層列を形成した後にフッ素ガスを排気し、次いで真空容器内にエポキシ基とチオール基を両端に有し分子鎖がアミド結合である分子を導入した。クロマトグラフによる分析から、この分子の分子長は4.5から5.1ナノメートルの範囲に分布している。金単原子層列とシリコンフロライド列ではさまれた領域の走査型トンネル顕微鏡像は明らかに水素終端シリコン表面のものとは異なり、この領域のみに分子が吸着していることを示している。

【0022】実施例4 実施例1と同様の方法でシリコン単結晶(100)の水素終端表面に直径0.8ナノメートルの金のドットを5ナノメートルの間隔で形成した。真空容器内に窒素ガスを導入して内部を1気圧にした後、シリコン単結晶試料を窒素雰囲気を通してチオフェンオリゴマーの溶液に浸した。1時間後に再び窒素雰囲気を通して試料を走査型トンネル顕微鏡装置内に移した。かかる試料の走査型トンネル顕微鏡観察により、金ドット間に該オリゴマーが吸着していることが確認された。金ドットの無い領域に付着した分子は真空排気中に蒸発し、二つの金ドット間に吸着した分子のみが残ったと考えられる。

【0023】実施例5 実施例1と同様の方法でシリコン単結晶(100)の水素終端表面に直径0.8ナノメートルの金のドットを縦、横それぞれ4.5ナノメートルの間隔で格子状に形成した。次いでこの試料表面に実施例4と同様の方法でボルフィリン誘導体を溶液から吸着させた。この化合物は5,10,15,20-テトラフェニルボルフィリンの4つのフェニル基のメタ位にアルキルチオール鎖を結合させたものである。走査型トンネル顕微鏡で観察したところ、4つの金ドットの中心位置にボルフィリン環に相当する像が確認された。各分子はそのアルキル鎖末端の硫黄原子が金ドットに結合することによりシリコン表面に固定されている、即ち、このボルフィリン誘導体により4つのドットが接続されいると考えられる。

【0024】実施例6 実施例3と同様の方法でシリコン単結晶(111)の水素終端表面をフッ素化した。その際にシリコンフロライドはステップ端およびその下のテラス上、ステップから2ナノメートルの位置に形成した。二つのシリコンフロライド間の距離は約2.1ナノメートルである。ここに2,2-ビス(4-ハイドロキシフェニル)プロパンとエピクロロヒドリンの縮重合生成体を吸着させた後に走査型トンネル顕微鏡で観察した

ところ、この化合物が、ステップ上下の二つのシリコンフロライドの位置にまたがって固定されていることを示唆する像が得られた。

【0025】実施例7 シリコン単結晶(111)の水素終端表面上にタングステン探針を接近させて探針に-6Vを印加することにより、水素終端シリコンから水素を脱離させて表面にダングリングボンドを形成した。この操作を繰り返すことにより、隣合うテラスの上でステップに直角方向に図2(a)に示すような二本のダングリングボンド列を形成した。この図で黒丸がダングリングボンドを表す。次いで各ダングリングボンド列のステップに近い側の端において、金で被覆したタングステン探針をシリコン表面に接近させ5Vの印加電圧を加えて、金のドットを形成した。図2(b)において二つの白丸は共に金ドットを表す。ステップの高さを考慮すると二つの金ドット間の距離は2.2ナノメートルである。この表面にチオフェン環がエチニル基で結合されたオリゴマーを吸着させた。この化合物は1994年にアメリカ化学会から発刊されたマクロモレキュール27巻2348から2350ページに従って合成したもので、繰返し単位は4つ、分子長は2.5ナノメートルである。この分子は図2(c)のように二つのステップにまたがって吸着していることが走査型トンネル顕微鏡観察で明らかとなった。

【0026】実施例8 表面を水素終端した直径1インチのシリコン(100)ウエファを面内に回転させながら、その表面で金で被覆したタングステン探針に5Vの印加電圧を順次加えることにより、金ドットをウエファ上に同心円状に形成した。円周上のドット間距離は5ナノメートルであり、隣合った円周間の距離は交互に2ナノメートルと5ナノメートルである。即ち、金ドット間の距離は2ナノメートル、この金ドット対間の最短距離は5ナノメートルである。図3(a)において、1はシリコンウエファを示し、2はウエファ上に形成したドット列である。このウエファ上の領域3の拡大図を図3(b)に示す。ここで4は金ドットを示す。次いでこの表面に実施例7で用いたチオフェンオリゴマーを吸着させることにより、この化合物は図3(c)に示す通り、その両端で金ドット対に固定される。同図において5はチオフェンオリゴマーを示す。図3(c)の領域6の拡大図を図3(e)に示す。しかる後に、金ドット対間の分子鎖上でその直角方向に原子間力顕微鏡のカンチレバーを50ナニュートンの力で走査させたところ、カンチレバーが通過した部分の分子が切断されたことを確認した。この状態を図3(d)に示した。ここで7は分子が除去された部分を示す。部分的にチオフェンオリゴマーが切断除去された金ドット対の間を走査型トンネル顕微鏡の探針を走査させることにより、チオフェンオリゴマーの有無が検出された。即ち、金ドット対間の分子の有無を0と1に対応させた情報の記録が達成された。記

録密度は平方インチ当り、10の13乗ビットである。

【0027】実施例9 実施例1と同様にシリコン酸化膜上に2ナノメートルの距離をおいて二つの金ドットを作成した。金ドット作成時にはシリコン酸化膜上に電子線を照射した。次いでこの表面にチオフェノール環がアゾ基で結合したオリゴマーを吸着させた。この化合物はジニトロチオフェノールの還元により合成した。すべてのアゾ基がトランス構造の場合の分子長は、その分子量から2.5乃至3ナノメートルである。この分子が二つの金ドットにまたがって吸着していることを走査型トンネル顕微鏡で確認した後、再び金で被覆したタングステン探針を用いて、金ドットに金の引き出し線を接続した。両ドット間の電気抵抗を測定しながら光ファイバーを通して分子に紫外線を照射したところ、両ドット間の電気抵抗が増加することを確認した。紫外線照射を停止すると電気抵抗が減少し、この操作の繰返しにより電気抵抗は可逆的に変化した。この電気抵抗の変化はアゾ基のトランス体からシス体への異性化によるものと解釈される。二点間を結ぶ分子の電気伝導度を光照射により制御でき、本デバイスは光の検出器として機能した。

【0028】実施例10 シリコン酸化層8を有するシリコン1の上に実施例9と同様の方法で図4(a)に示した三つの金ドット9、10、11を作成した。この表面に12個のチオフェン環と13個のエチニル基が結合した化合物を導入することにより、この化合物が図4(b)に示した通り、三つの金ドット9、10、11を介してシリコン酸化膜上に固定された。この図で、12はチオフェン環、13はエチニル基を示す。この化合物は1994年にアメリカ化学会から発刊されたマクロモレキュール27巻2348から2350ページに準じて合成したものである。次いで水素雰囲気中で、中心のチオフェン環に結合した三つのエチニル基に探針を近付けて電圧を印加することにより、それぞれの炭素間三重結合部分に水素を付加し飽和結合とした。次いで、三つの金ドット、9、10、11にそれぞれ、図4(c)に示した三本の金の引き出し電極14、15、16を接続した。16に印加する電圧をゲート電圧として14と15の間の電流と電圧を測定し、トランジスタ特性を確認した。

【0029】

【発明の効果】本発明によれば、真空雰囲気内の固体表面の所定の場所に分子を効率良く配置せしめることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、それぞれ全面にわたって活性な部位が形成されている相対する二種類の固体AとBの表面への分子の吸着図を、(b)は、相対する一部の領域にそれぞれ活性部位を有する二種類の固体AとBの表面への分子の吸着図を、(c)は片方の表面が部分的に活性化され、これに対する表面が全領域にわたって活性化され

ている二種類の固体AとBの表面への分子の吸着図を示す。

【図2】シリコン(111)表面の隣接するステップ間の分子接続図を示すもので、(a)において黒丸はシリコンのダングリングボンドを、(b)はこのダングリングボンド列の一端に白丸で表わされる金ドットを形成した状態を、(c)は二つの金ドット間の分子による接続を示す。

【図3】シリコン上の分子接続による記録素子を示すもので、(a)はドット間距離2ナノメートル、ドット対間距離5ナノメートルで作成した金ドットを有するシリコン基板を、(b)はその拡大図であり、各丸は金ドットを、(c)は各金ドット対間のチオフェンオリゴマーによる接続を、(e)はチオフェンオリゴマー分子の拡大図を、(d)はカンチレバーにより一部の分子鎖を切断した状態を示す。

断した状態を示す。

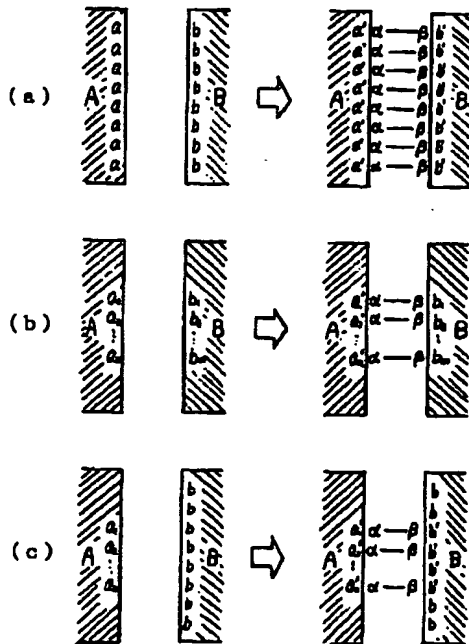
【図4】シリコン酸化膜上での分子接続によるトランジスタ素子形成過程を示すもので、(a)は三つの金ドットを形成したシリコン酸化膜を、(b)は三つの金ドットにまたがって吸着させたチオフェン誘導体を、(c)はチオフェン誘導体に部分水素付加し、さらに引き出し電極を形成して完成した分子トランジスタ素子を示す。

【符号の説明】

A、B…分子の吸着すべき固体表面、a、b…それぞれの表面の活性部位、 $\alpha$ - $\beta$ …異なる官能基 $\alpha$ と $\beta$ を有する分子、1…シリコン基板、2…基板上的金ドット列、4…金ドット、5…チオフェンオリゴマー、7…チオフェンオリゴマーが除去された部分、8…シリコン酸化層、9、10、11…金ドット、12…チオフェン環、13…エチニル基、14、15、16…引き出し電極。

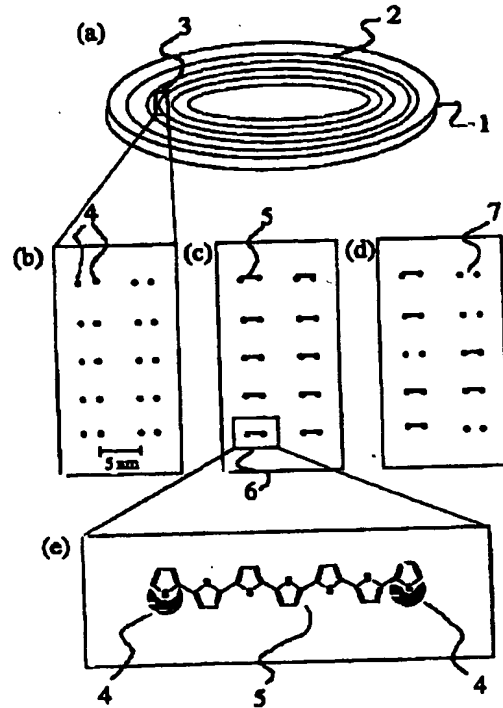
【図1】

図1



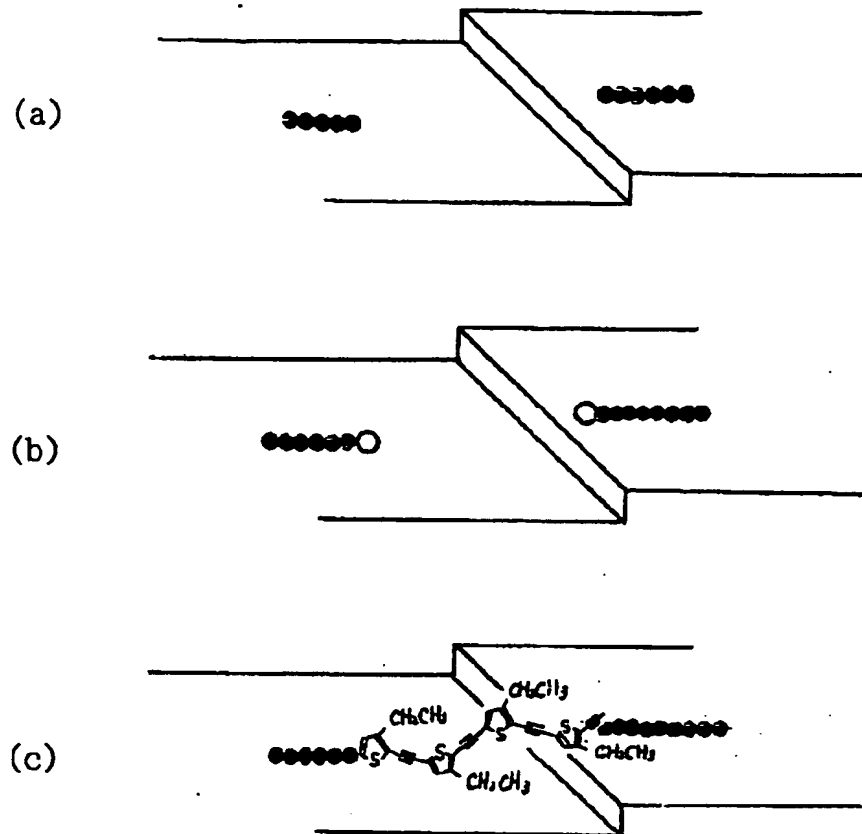
【図3】

図3



【図2】

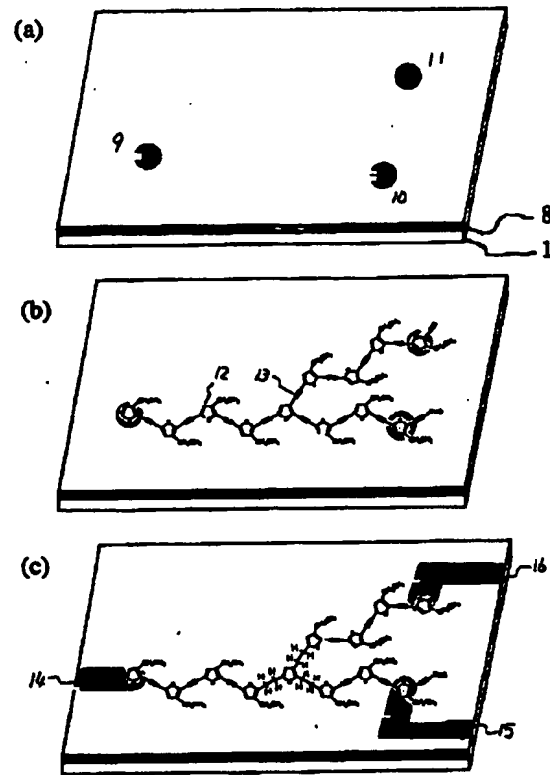
図 2





【図4】

図4



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H01L 29/68

識別記号 庁内整理番号

FI  
H01L 29/68

技術表示箇所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**